

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Drainase Perkotaan

Drainase (*drainage*) yang berasal dari kata kerja ‘*to drain* ‘ yang berarti mengeringkan atau mengalirkan air, adalah terminologi yang digunakan untuk menyatakan sistem-sistem yang berkaitan dengan penanganan masalah kelebihan air, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah.

Menurut Halim Hasmar (2012;1) drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu. Drainase perkotaan/terapan adalah ilmu drainasi yang diterapkan mengkhususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan sosial budaya yang ada di kawasan kota. Drainasi perkotaan/terapan merupakan system pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi :

1. Pemukiman
2. Kawasan industri dan perdagangan
3. Kampus dan sekolah
4. Rumah sakit dan fasilitas umum
5. Lapangan olahraga
6. Lapangan parkir
7. Instalasi militer, listrik, telekomunikasi
8. Pelabuhan udara

Saat ini sistem drainase sudah menjadi salah satu infrastruktur perkotaan yang sangat penting. Kualitas drainase perkotaan sangat berpengaruh dari sistem kota itu sendiri. Beberapa pengertian drainase menurut beberapa sumber adalah sebagai berikut :

- a. Menurut Gunadarma (2007:3) dalam Drainase Perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi : pemukiman, kawasan industri dan perdagangan, sekolah, rumah sakit, fasilitas

umum lainnya, lapangan olahraga, lapangan parkir, instalasi militer, instalasi listrik dan telekomunikasi, pelabuhan udara, pelabuhan laut/sungai serta tempat lainnya yang merupakan bagian dari sarana kota.

- b. Menurut Halim Hasmar (2012:1) dalam Drainase Terapan drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu.

2.2 Sejarah Drainase Perkotaan

Menurut Gunadarma (2007:1) Ilmu drainase perkotaan bermula tumbuh dari kemampuan manusia mengenali lembah-lembah sungai yang mampu mendukung air bagi keperluan rumah tangga, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan kebutuhan sosial budaya.

Dari siklus kemungkinan adanya gangguan air berlebih atau air kotor.

Menurut Suripin (2004:8) Manusia sudah keberadaan air di suatu lokasi dimana manusia bermukim, pada masa tertentu selalu terjadi keberadaan air secara berlebih sehingga mengganggu kehidupan manusia itu sendiri. Selain daripada itu, kegiatan manusia semakin bervariasi sehingga menghasilkan limbah kegiatan berupa air buangan yang dapat mengganggu kualitas lingkungan hidupnya. Berangkat dari kesadaran akan arti kenyamanan hidup sangat bergantung pada kondisi lingkungan, maka orang mulai berusaha mengatur lingkungannya dengan cara melindungi daerah pemukimannya dari mulai memikirkan tentang sistem pembuangan limpasan air hujan sejak jaman Romawi kuno. Bangunan drainase perkotaan pertama kali dibuat di Romawi berupa saluran bawah tanah yang cukup besar, yang digunakan untuk menampung dan membuang limpasan air hujan. Sejalan dengan perkembangan kota-kota di Eropa dan Amerika Utara, system drainase berkembang secara intensif. Pada awalnya, system drainase dibangun hanya untuk menerima limpasan air hujan dan membuangnya ke badan air hujan dan membuangnya ke badan air (*receiving waters*) terdekat.

Desain dan pembangunannya belum dilakukan dengan baik. Saluran bawah tanah yang terbuat dari batu dan bata mengalami rembesan yang cukup besar,

sehingga kapasitasnya jauh berkurang. Pada beberapa kasus, saluran tidak mempunyai kemiringan yang cukup, sehingga air tidak lancar (*stagnant*) dan terjadi genangan dalam saluran setelah terjadi hujan. Hingga saat ini pembangunan sistem drainase semakin lama semakin banyak dengan dikarenakan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat.

Oleh karena itu sampai saat ini pemerintah harus pandai-pandai membuat dan mengatur agar sistem drainase yang dibangun tidak menimbulkan bahaya karena bercampurnya air kotor/air limbah dengan air bersih yang akan dikonsumsi masyarakat. Jika tidak cegah akan banyak muncul penyakit yang dapat menyerang masyarakat sekitar. Maka dari itu sistem drainase harus dibuat terpisah karena dari segi kesehatan juga dari segi keuntungan dan kegunaannya.

2.3 Fungsi Drainase

Menurut Mulyanto (2013) Dalam bukunya “Penataan Drainase Perkotaan” fungsi drainase adalah sebagai berikut :

1. Membuang air lebih

Fungsi ini berjalan dengan mengalirkan air lebih ke tujuan akhirnya yaitu perairan bebas yang dapat berupa sungai, danau maupun laut, ke dalamnya air lebih ini dapat dialirkan. Ini merupakan fungsi utama untuk mencegah menggenangnya air pada lahan perkotaan maupun di dalam parit-parit (saluran-saluran) yang menjadi bagian dari sistem drainase.

2. Mengangkut limbah dan mencuci polusi dari daerah perkotaan

Di atas lahan perkotaan tertumpuk bahan polutan berupa debu dan sampah organik yang berpotensi mencemari lingkungan hidup. Oleh air hujan yang jatuh, polutan akan terbawa ke dalam sistem drainase dan dialirkan pergi sambil dinetralisir secara alami. Secara alami suatu badan air seperti sungai, saluran drainase mempunyai kemampuan untuk menetralisasi cemaran yang memasuki/terbawa alirannya dalam jumlah terbatas/batas-batas tertentu menjadi zat-zat anorganik yang tidak berbahaya/ tidak mencemari lingkungan.

3. Mengatur arah & kecepatan aliran

Air buangan berupa air hujan dan limbah harus diatur alirannya melewati sistem drainase dan diarahkan ke tempat penampungan akhir atau perairan beban di mana sistem drainase bermuara. Arah aliran akan ditentukan melewati sistem drainase sehingga tidak menimbulkan kekumuhan. Disamping itu kecepatan alirannya dapat diatur sebaik mungkin sehingga tidak akan terjadi penggerusan atau pengendapan pada saluran-saluran drainase.

4. Mengatur elevasi muka air tanah

Pada kondisi muka air tanah dangkal, daya serap lahan terhadap hujan kecil dan dapat menambah potensi banjir. Muka air tanah yang dalam akan menyulitkan tetumbuhan penghijauan kota untuk menyerapnya khususnya pada musim kemarau tetapi daya serap terhadap hujan tinggi. Disamping itu kalau terjadi penurunan muka air tanah akan terjadi pemadatan atau subsidensi yaitu menurunnya muka tanah di atas muka air tanah. Pemadatan ini disebabkan ruang antar butir dalam tanah yang tadinya terisi air akan menjadi kosong sehingga tanah memadat.

5. Menjadi sumber daya air alternatif

Makin bertambahnya kebutuhan akan air makin dibutuhkannya sumberdaya air. Daur ulang air dari sistem drainase dapat menjadi alternatif pemenuhan akan sumberdaya air dengan beberapa syarat.

6. Di daerah pebukitan sistem drainase menjadi salah satu prasarana mencegah erosi dan gangguan stabilitas lereng. *Run off* permukaan akibat hujan yang jatuh pada daerah pebukitan akan mengalir dengan kecepatan tinggi kalau tidak mengalami hambatan cukup dan menimbulkan erosi permukaan. Untuk mengendalikannya diperlukan pembuatan sistem drainase teknis bagi menata aliran *run off* permukaan maupun aliran di dalam saluran.

2.4 Sistem Drainase Perkotaan

2.4.1 System yang hanya melayani pembuangan bagi air hujan saja (*storm drainage*)

Menurut Mulyanto (2012:10) dalam bukunya “Penataan Drainase Perkotaan” System ini direncanakan dengan kapasitas cukup untuk mengevakuasi air hujan dengan frekuensi yang direncanakan. Penentuan frekuensi di bawah ini tergantung dari kondisi lokal setempat dan pada keyakinan perencanaannya tetapi juga dipertimbangkan biaya pembuatan sistem drainase

- a. Daerah pemukiman curah hujan yang harus dievakuasi dari frekuensi maksimum 5 tahunan
- b. Bagi daerah komersial diambil frekuensi curah hujan maksimum 10 tahunan yang harus dapat dievakuasi
- c. Untuk daerah industri diambil frekuensi curah hujan maksimum 10 tahunan yang harus dapat dievakuasi

Pada daerah dengan dua musim yang sangat berbeda, musim hujan dan kemarau keberadaan sistem drainase ini nampak seperti suatu pemborosan karena akan kering pada musim kemarau. tetapi dengan system ini pencemaran ke dalam air tanah dapat sangat dibatasi. Air tanah masih menjadi sumber daya air yang sangat penting di daerah perkotaan dan pedesaan di Indonesia. Untuk memberikan nilai lebih, system ini dapat diberi fungsi tambahan sebagai system pengisian ulang air tanah apabila terdapat sumberdaya air yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan tersebut misalnya dengan mengalirkan air sungai di dekat perkotaan ke daerah perkotaan untuk mengisi air tanah.

Keuntungan sistem drainase air hujan ini mudah dibuat dan dibersihkan Kerugiannya adalah memerlukan lahan dengan luasan yang cukup besar, mudah kemasukan dan dimasuki limbah khususnya sampah perkotaan

2.4.2 Sistem Drainase Untuk Air Limbah (*Sewerage*)

System ini melayani penampungan dan pembuangan air limbah perkotaan untuk kemudian dialirkan ke dalam sebuah instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Di dalam IPAL air limbah akan diproses untuk diturunkan tingkat kandungan

bahan pencemarnya agar memenuhi ketentuan tentang baku mutu air agar kemudian dapat dialirkan ke dalam perairan bebas. Sistem drainase untuk air limbah ini biasanya dibuat tertutup/tertanam di bawah permukaan tanah.

Keuntungannya:

- tidak menimbulkan pencemaran
- tidak mengganggu estetika
- dibuat kedap air agar air di dalamnya tidak meresap ke luar dan mencemari air tanah.

Kerugiannya :

- Lebih mahal biaya pembuatannya.
- Sukar dibersihkan dan dipelihara. Di dalam saluran tertutup lebih banyak terjadi proses pembusukan anaerobik yang menimbulkan gas-gas beracun yang berbahaya bagi para pemelihara saluran yang memasukinya. Gas-gas ini bersifat mudah terbakar, sehingga bila terjadi konsentrasi pekat di dalam saluran akan dapat menimbulkan ledakan apabila terpercik api.
- Untuk memudahkannya, pada interval panjang tertentu (20-25m) dari panjang saluran dibuat lubang masuk (*man hole*) bagi jalan akses masuknya para pekerja pemelihara sistem drainase serta untuk secara periodik dibuka untuk melepaskan gas-gas volatile (mudah terbakar) seperti metan, yang terbentuk karena proses anaerobik agar tidak menimbulkan bahaya peledakan maupun peracunan
- Saluran-saluran tertutup dapat menjadi sarang dan tempat berbiaknya tikus yang membahayakan kesehatan dan dapat menimbulkan kerusakan.

Pemisahan sistem drainase menjadi dua macam tersebut mempunyai konsekuensi menjadi mahalnya pembuatan, operasi dan pemeliharaannya. Keuntungannya adalah kota menjadi lebih sehat nampak lebih bersih dan rapi.

2.4.3 Sistem Gabungan

Optimalisasi dari keuntungan dan kerugian dua system terpisah, yaitu membuat sistem drainase gabungan seperti yang ada di Indonesia. System ini dibuat terbuka untuk memudahkan pembersihannya tetapi efek sampingnya malah

merangsang masyarakat memanfaatkannya sebagai tempat membuang limbah baik cair maupun padat yang menimbulkan gangguan terhadap kinerjanya. Disamping itu air buangan dari system gabungan ini ketika dibuang memasuki perairan bebas masih mengandung limbah/pencemar dengan kadar yang tinggi dan membahayakan keseimbangan lingkungan hidup.

2.5 Jenis Drainase

2.5.1 Menurut Sejarah Terbentuknya

a. Drainase Alamiah (Natural Drainage)

Drainase yang terbentuk secara alami dan tidak terdapat bangunan-bangunan penunjang seperti bangunan pelimpah, pasangan batu/beton, gorong-gorong dan lain-lain. Saluran ini terbentuk oleh gravitasi yang lambat laun membentuk jalan air yang permanen seperti sungai.

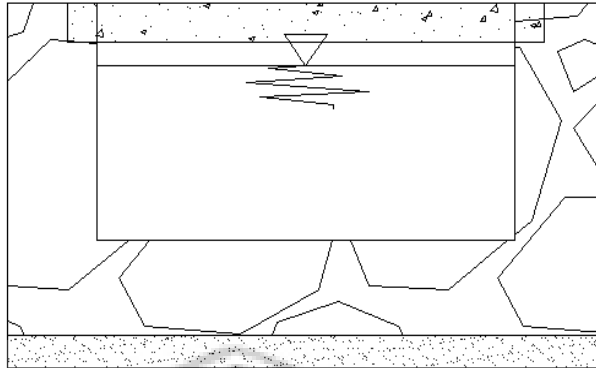


Gambar 2.1. Drainase Alamiah

Sumber : (diunduh dari *Google* 03 Juli 2017, 18.10 WIB)

b. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Drainase yang dibuat dengan maksud dan tujuan tertentu sehingga memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu/beton, gorong-gorong, pipa-pipa dan sebagainya.



Gambar 2.2. Drainase Buatan

Sumber : (digambar dengan autocad 02 juli 2017 21.35 WIB)

2.5.2 Menurut Letak Bangunan

a. Drainase Permukaan Tanah (*Surface Drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open channel flow*

b. Drainase Bawah Permukaan Tanah (*Subsurface Drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan itu antara lain : tuntutan artistik , tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran di permukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman,dan lain-lain.

2.5.3 Menurut Fungsinya

Fungsi drainase antara lain sebagai berikut :

- a. **Single Purpose** yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis buangan, misalnya air hujan saja atau jenis air buangan yang lainnya seperti limbah domestik, air limbah industri dan lain-lain.
- b. **Multi Purpose** yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis air buangan baik secara bercampur maupun bergantian

2.5.4 Menurut Konstruksi

- a. **Saluran Terbuka**, yaitu saluran yang lebih cocok untuk drainase air hujan yang terletak di daerah yang mempunyai luasan yang cukup, ataupun untuk drainase air non-hujan yang tidak membahayakan kesehatan/mengganggu lingkungan.
- b. **Saluran Tertutup**, yaitu saluran yang pada umumnya sering dipakai untuk saluran air kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) atau untuk saluran yang terletak di tengah kota.

2.6 Drainase Perkotaan Berdasarkan Fungsi Layanan

a. Sistem Drainase Lokal

Yang termasuk sistem drainase lokal adalah saluran awal yang melayani suatu kawasan kota tertentu seperti kompleks permukiman, area pasar, perkantoran, areal industri dan komersial. Sistem ini melayani areal kurang dari 10 ha. Pengelolaan sistem drainase lokal menjadi tanggung jawab masyarakat, pengembang, atau instansi lainnya.

b. Sistem Drainase Utama

Yang termasuk dalam sistem drainase utama adalah saluran drainase primer, sekunder, tersier, beserta bangunan pelengkap yang melayani kepentingan sebagian besar warga masyarakat. Pengelolaan sistem drainase utama merupakan tanggung jawab pemerintah kota.

c. Pengendalian Banjir (*Flood Control*)

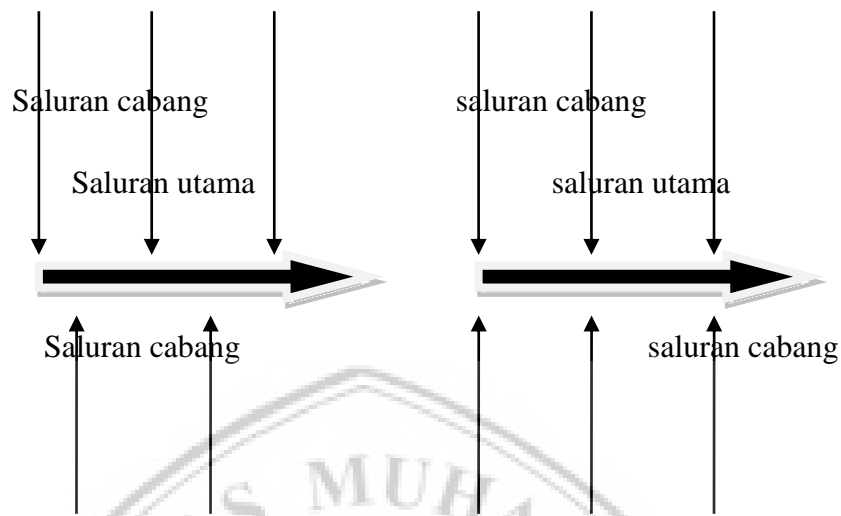
Sungai yang melalui kota yang berfungsi mengendalikan air sungai, sehingga tidak mengganggu dan dapat memberi manfaat bagi kehidupan masyarakat. Pengelolaan pengendalian menjadi tanggung jawab Direktorat Jendral Sumber Daya Air.

2.7 Pola Jaringan Drainase

Pola jaringan drainase menurut Halim Hasmar (2012: 4) terbagi menjadi 6 macam pola jaringan, yaitu :

a. Siku

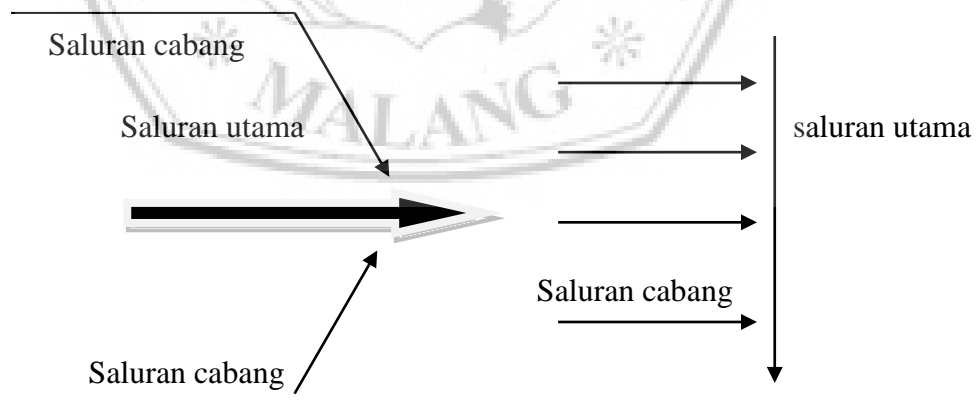
Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir berada di tengah kota.



Gambar 2.3 Pola Jaringan Siku
(Sumber Google 04 Juli 2017 19.02 WIB)

b. Parallel

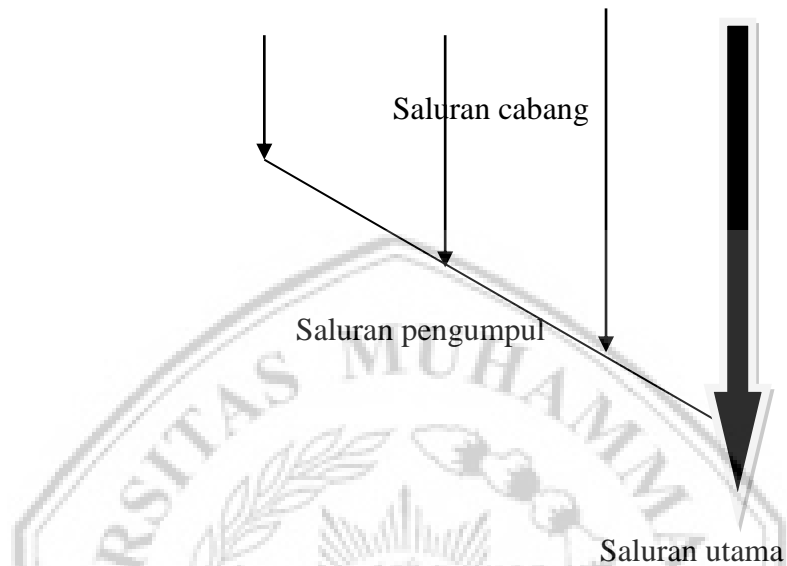
Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Gambar 2.4 Pola Jaringan Paralel
(Sumber Google 04 Juli 2017 19.06 WIB)

c. Grid Iron

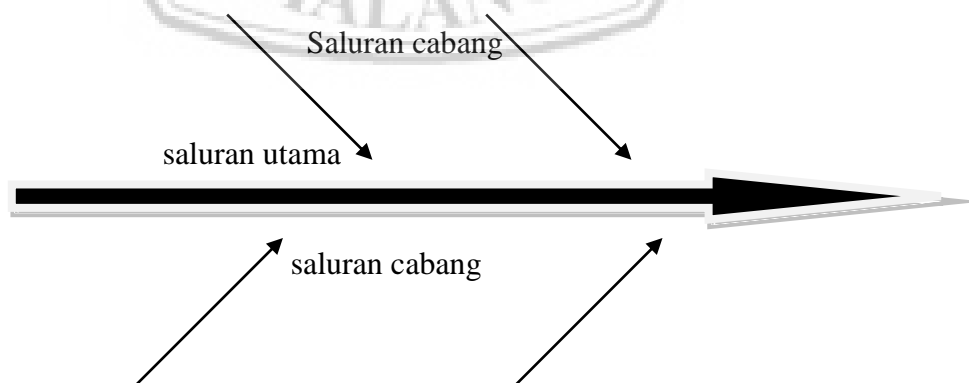
Untuk daerah dimana sungainya terletak di pinggir kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.



Gambar 2.5 Pola Jaringan Grid Iron
(Sumber Google 04 Juli 2017 19.09 WIB)

d. Alamiah

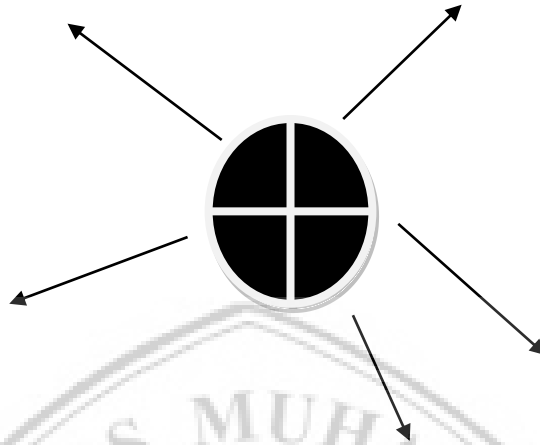
Sama seperti pola siku, hanya beban sungai pada pola alamiah lebih besar



Gambar 2.6 Pola Jaringan Alamiah
(Sumber Google 04 Juli 2017 19.12 WIB)

e. Radial

Pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.

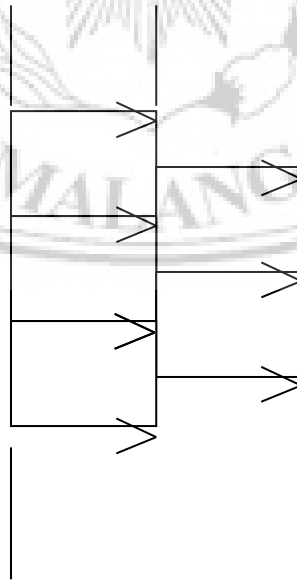


Gambar 2.7 Pola Jaringan Radial

(Sumber Google 04 Juli 2017 19.17 WIB)

f. Jaring-Jaring

Mempunyai saluran – saluran pembuangan yang mengikuti arah jalan raya, dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.



Gambar 2.8 Pola Jaringan Jaring-jaring

(Sumber Google 04 Juli 2017 19.32 WIB)

2.8 Aspek Hidrologi

Menurut Soemarto (1986:15) hidrologi adalah suatu ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Ini meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini.

Para teknisi sangat berkepentingan dengan perencanaan dan eksploitasi bangunan air untuk pengendalian penggunaan air, terutama yang mengatur aliran sungai, pembuatan waduk-waduk dan saluran-saluran irigasi. Oleh karenanya mereka harus mengetahui tentang penggunaan ilmu hidrologi dalam arti yang luas, karena bagian-bagiannya banyak yang berasal dari matematika, ilmu alam, statistic, meteorology, oceanografi, geografi, geologi, geomorfologi, hidrolika dan ilmu-ilmu lain yang berhubungan dengan itu. Di samping itu harus pula diketahui pengalaman-pengalaman yang berasal dari bidang-bidang kehutanan, pertanian, biologi dan botani.

2.8.1 Siklus Hidrologi

Siklus Hidrologi Menurut Soemarto (1986:17) daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali. Susunan secara siklus peristiwa tersebut sebenarnya tidaklah sesederhana yang kita gambarkan.

Yang pertama daur tersebut dapat merupakan daur pendek, yaitu misalnya hujan yang jatuh di laut, danau atau sungai yang segera dapat mengalir kembali ke laut.

Kedua, tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh suatu daur. Pada musim kemarau kelihatannya daur berhenti sedangkan di musim hujan berjalan kembali.

Ketiga, intensitas dan frekuensi daur tergantung pada keadaan geografi dan iklim, yang mana hal ini merupakan akibatnya adanya matahari yang berubah-

ubah letaknya terhadap meridian bumi sepanjang tahun (sebenarnya yang berubah-ubah letaknya adalah planet bumi terhadap matahari).

Keempat, berbagai bagian daur dapat menjadi sangat kompleks, sehingga kita hanya dapat mengamati bagian akhirnya saja dari suatu hujan yang jatuh di atas permukaan tanah dan kemudian mencari jalannya untuk kembali ke laut.

Secara keseluruhan jumlah air di planet bumi ini relatif tetap dari masa ke masa. Air di bumi mengalami suatu siklus melalui serangkaian peristiwa yang berlangsung terus-menerus, di mana kita tidak tahu kapan dan dari mana berawalnya dan kapan pula akan berakhir. Serangkaian peristiwa tersebut dinamakan siklus hidrologi .

Air menguap dari permukaan samudera akibat energi panas matahari. Laju dan jumlah penguapan bervariasi, terbesar terjadi di dekat equator, di mana radiasi matahari lebih kuat. Uap air adalah murni , karena pada waktu dibawa naik ke atmosfer kandungan garam ditinggalkan. Uap air yang dihasilkan dibawa udara yang bergerak. Dalam kondisi yang memungkinkan, uap tersebut mengalami kondensasi dan membentuk butir-butir air yang akan jatuh kembali sebagai presipitasi berupa hujan dan atau salju. Presipitasi ada yang jatuh di samudera, di darat, dan sebagian langsung menguap kembali sebelum mencapai ke permukaan bumi .

Presipitasi yang jatuh di permukaan bumi menyebar ke berbagai arah dengan beberapa cara. Sebagian akan tertahan sementara di permukaan bumi sebagai es atau salju, atau genangan air, yang dikenal dengan simpanan depresi. Sebagian air hujan atau lelehan salju akan mengalir ke saluran atau sungai. Hal ini disebut aliran limpasan permukaan. Jika permukaan tanah porous, maka sebagian air akan meresap ke dalam tanah melalui peristiwa yang disebut infiltrasi. Sebagian lagi akan kembali ke atmosfer melalui penguapan dan transpirasi oleh tanaman (evapotranspirasi) .

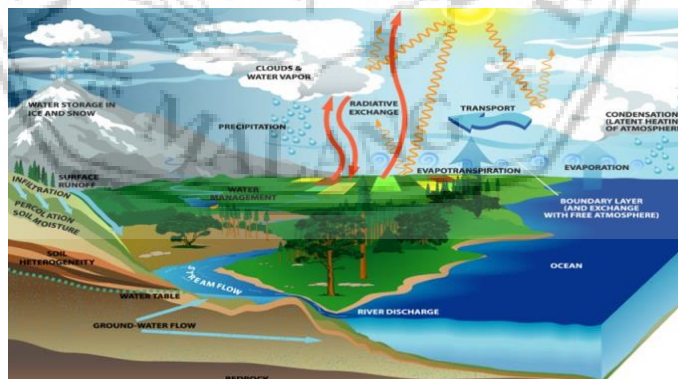
Di bawah permukaan tanah, pori-pori tanah berisi air dan udara. Daerah ini dikenal sebagai zona kapiler (*Vadoze Zone*), atau zona aerasi. Air yang tersimpan di zona ini disebut kelengasan tanah (*Soil Moisture*), atau air kapiler. Pada kondisi tertentu air dapat mengalir secara lateral pada zona kapiler, proses ini disebut

interflow. Uap air dalam zona kapiler dapat juga kembali ke permukaan tanah, kemudian menguap.

Kelebihan kelengasan tanah akan ditarik masuk oleh gravitasi dan proses ini disebut drainase gravitasi. Pada kedalaman tertentu, pori-pori tanah atau batuan akan jenuh air. Batas atas zona jenuh air di sebut muka air tanah (*water table*). Air yang tersimpan dalam zona jenuh air di sebut air tanah. Air tanah ini bergerak sebagai aliran air tanah melalui batuan atau lapisan tanah sampai akhirnya keluar ke permukaan sebagai sumber air (*spring*) atau sebagai rembesan ke danau, waduk, sungai, atau laut.

Air yang mengalir dalam saluran atau sungai dapat berasal dari aliran permukaan atau dari air tanah yang merembes di dasar sungai . Kontribusi air tanah pada aliran sungai disebut aliran dasar (*base flow*), sementara total aliran disebut debit (*run off*). Air yang tersimpan di waduk, danau, dan sungai disebut air permukaan (*surface water*).

Dalam kaitannya dengan perencanaan drainase, komponen dalam siklus hidrologi yang terpenting adalah aliran permukaan. Oleh karena itu, komponen inilah yang ditangani secara baik untuk menghindari berbagai bencana, khususnya bencana banjir.



Gambar 2.9 Siklus Hidrologi

(Sumber Google 05 Juli 2017 14.35 WIB)

2.9 Analisa Hidrologi

Menurut Soemarto (1986:15) hidrologi adalah ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Meliputi berbagai bentuk air

yang menyangkut perubahan – perubahannya antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Didalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan di planet bumi ini.

2.9.1 Pengujian Seri Data

Menurut Kamiana (2011:16) beberapa rangkaian pengujian dilakukan terhadap seri data (data hujan atau data debit) yang terkumpul sebelum digunakan data masukan dalam analisis frekuensi, 2 diantaranya adalah uji konsistensi dan uji homogenitas.

2.9.1.1 Uji Konsistensi

Uji konsistensi data bertujuan untuk mengetahui tingkat kebenaran data yang diperoleh dari lapangan yang sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- Spesifikasi alat penakar berubah.
- Tempat alat ukur dipindah.
- Perubahan lingkungan di sekitar alat penakar.

Jika dari hasil pengujian ternyata data adalah konsisten artinya tidak terjadi perubahan lingkungan dan cara penakaran, sebaliknya jika ternyata data tidak konsisten artinya terjadi perubahan lingkungan dan cara penakaran.

Cara pengujian konsistensi data hujan dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu:

1. Metode Curva Massa Ganda

Metode Curva Massa Ganda dilakukan pemilihan antara stasiun yang diuji dan stasiun referensi kemudian dibandingkan nilai kumulatif seri data keduanya. Stasiun referensi berupa data rata-rata dari beberapa stasiun terdekat. Nilai kumulatif seri data digambarkan pada grafik sistem koordinat kartesius (X-Y) dan kurva yang terbentuk kemudian diperiksa untuk mengetahui titik yang mengalami perubahan atau patahan gradien. Jika kurva berbentuk garis lurus maka data tersebut sudah konsisten, sebaliknya jika terjadi perubahan atau patahan maka data uji tidak konsisten dan perlu dilakukan koreksi dengan mengalirkan atau

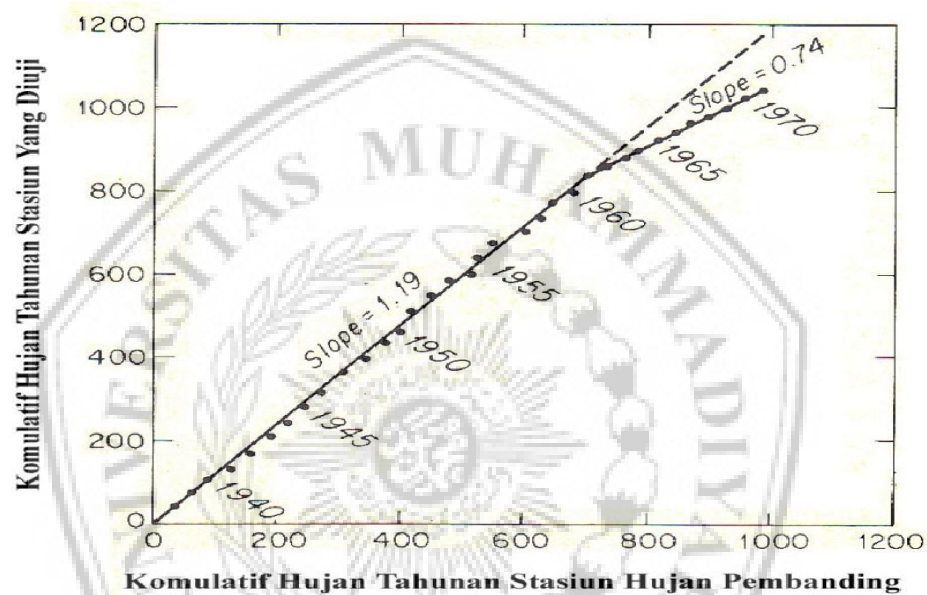
membagi data sebelum perubahan atau patahan. Faktor koreksi konsistensi data dapat ditulis dengan rumus:

$$\frac{\beta}{\alpha} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

β = gradien kurva setelah patahan

α = Gradien kurva sebelum patahan



Gambar 2.10 Contoh Grafik Uji Konsistensi Data Curah Hujan
(Sumber: Linsley, Kohler dan Paulhus, 1996)

2. *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS)

Dalam metode *Rescaled Adjusted Partial Sums*, konsistensi data hujan dilakukan dengan nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata berdasarkan persamaan berikut:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{N} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- S_k^* = nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata
 Y_i = nilai data Y ke-i
 \bar{Y} = nilai Y rata-rata
 N = Jumlah data Y

2.9.1.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah seri data yang terkumpul dari 2 stasiun pengukur yang berada di dalam suatu daerah pengaliran atau salah satu berada diluar daerah pengaliran yang bersangkutan berasal dari populasi yang sama atau bukan.

Pengujian homogenitas suatu seri data dilakukan dengan Metode Uji-t, yang rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{N_1 - 1}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{N_2 - 1}} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$dk = N_1 + N_2 - 2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- t = variabel – t terhitung
 \bar{X}_1 = rata – rata hitung sampel ke -1
 \bar{X}_2 = rata – rata hitung sampel ke -2
 N_1 = jumlah sampel set ke – 1
 N_2 = jumlah sampel set ke – 2
 σ = deviasi standar
 S_1^2 = varian sampel set ke-1
 S_2^2 = varian sampel set ke-2
 dk = derajat kebebasan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai t (menggunakan persamaan 2.4 s/d 2.5), akan diperoleh 2 kemungkinan yaitu :

- $t \text{ terhitung} > t_{\text{cr}}$ atau $t \text{ kritis}$; artinya kedua sampel yang diuji tidak dari populasi yang sama.
- $t \text{ terhitung} < t_{\text{cr}}$ atau $t \text{ kritis}$; artinya kedua sampel yang diuji berasal dari populasi yang sama.

Nilai t_{cr} dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel. 2.1 Nilai t_{c} (t_{kritis}) untuk uji distribusi 2 sisi

Dk	Derajat Kepercayaan t_{α}				
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,039	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
Inf	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Sumber : Soewarno (1993)

2.9.2 Curah Hujan Daerah

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan

sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau di sekitar kawasan tersebut.

Ada tiga macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan : (1) Rata-Rata Aljabar, (2) Poligon Thiessen, dan (3) Isohyet.

2.9.2.1 Metode Rata-Rata Aljabar

Merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/hampir merata, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Hujan kawasan diperoleh dari persamaan :

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots \dots \dots (2.9)$$

P = Curah hujan daerah maksimum setahun (mm)

n = Jumlah stasiun hujan

P_n = Data curah hujan harian maksimum setahun di stasiun-stasiun hujan (mm)

2.9.2.2 Metode Poligon Thiessen

Metode ini dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat.

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.

- 2) Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
- 3) Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.
- 4) Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

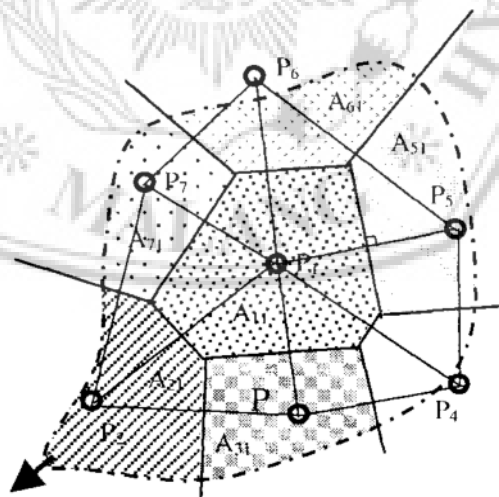
$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots \dots \dots (2.10)$$

P = Curah hujan daerah maksimum setahun (mm)

A = Luas daerah (ha, m², km²)

A_n = Luas daerah pengaruh tiap stasiun hujan (ha, m², km²)

P_n = Data curah hujan harian maksimum setahun ditiap stasiun hujan (mm)



Gambar 2.11 Metode Poligon Thiessen

(Sumber Google 05 Juli 2017 19.35 WIB)

2.9.2.3 Metode Isohyet

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan

secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Dengan kata lain, asumsi metode Thiessen yang secara membabi buta menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

Metode Isohyet terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

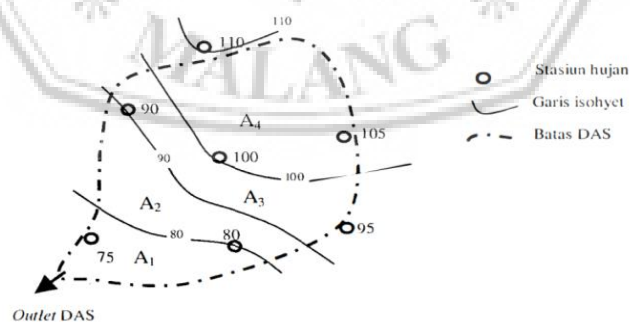
- 1) Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
- 2) Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval isohyet yang umum dipakai adalah 10 mm.
- 3) Hitung luas area antara dua garis isohyet dengan menggunakan planimeter.
- 4) Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara dua isohyet yang berdekatan.
- 5) Hitung hujan rata-rata DAS dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A_1\left(\frac{P_1+P_2}{2}\right) + A_2\left(\frac{P_2+P_3}{2}\right) + \dots + A_{n-1}\left(\frac{P_{n-1}+P_n}{2}\right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Atau

$$P = \frac{\sum \left[A \left(\frac{P_1+P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \dots\dots\dots(2.12)$$

Metode isohyet cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5.000 km².



Gambar 2.12 Isohyet

(Sumber Google 05 Juli 2017 19.39 WIB)

2.9.3 Analisa Frekuensi Dan Probabilitas

Menurut Suripin (2003:32), frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan dilampaui. Sebaliknya kala ulang adalah waktu hipotetik

dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan dilampaui Karakteristik desain hidrologi untuk sistem drainase perkotaan 10-100 Ha dengan periode ulang 2-5 tahun yang artinya bahwa curah hujan terbesar terjadi sekali dalam 5 tahun atau kala ulang tertentu baik dilampaui ataupun setara dengan curah hujan rancangan.

Kala ulang rencana bisa dilakukan dengan beberapa metode yaitu:

1. Distribusi Normal
2. Distribusi Log Normal
3. Distribusi Log Person Tipe III
4. Distribusi Gamble

Keempat distribusi tersebut memiliki persyaratan masing-masing yaitu:

Table 2.2 Persyaratan parameter statistik suatu distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Gumbel	$C_s = 1,14$
		$C_k = 5,4$
2	Normal	$C_s = 0$
		$C_k = 3$
3	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
4	Log Person type III	Selain dari nilai di atas

(Sumber: Bambang T, 2008)

Keterangan Tabel 2.2 :

- Koefisien kepencengan (C_s) = $\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2).S^3} \dots\dots\dots(2.13)$

- Koefisien kortosis (C_k) = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3).S^4}} \dots\dots\dots(2.14)$

- \bar{X} = nilai rata-rata dari X = $\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots(2.15)$

- Standar Deviasi (S) = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.16)$

2.9.3.1 Distribusi Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Normal, jika data yang digunakan adalah sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

X_T = Hujan rencana dengan periode ulang T tahun

\bar{X} = Nilai rata-rata dari data hujan (X) mm

S = Standar deviasi dari data hujan (X) mm

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel variabel reduksi gauss pada **Tabel 2.3**)

Tabel 2.3 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode ulang, T (tahun)	K_T
1	1,001	-3,05
2	1,005	-2,58
3	1,010	-2,33
4	1,050	-1,64
5	1,110	-1,28
6	1,250	-0,84
7	1,330	-0,67
8	1,430	-0,52
9	1,670	-0,25
10	2,000	0
11	2,500	0,25
12	3,330	0,52
13	4,000	0,67
14	5,000	0,84
15	10,000	1,28
16	20,000	1,64
17	50,000	2,05
18	100,000	2,33
19	200,000	2,58
20	500,000	2,88
21	1000,000	3,09

Sumber : Suripin (2004)

2.9.3.2 Distribusi Log Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Log Normal, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S \log X \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

$\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T

$$\text{Log } X = \text{Nilai rata-rata dari log } X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(2.19)$$

$S \log X$ = nilai rata-rata populasi X

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.20)$$

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel variabel reduksi gauss pada **Tabel 2.3**)

Tabel 2.4 Faktor Frekuensi K_T Untuk Distribusi Log Pearson Type III

G or Cs	Return period in years						
	2	5	10	25	50	100	200
	Exceedence probabilitas						
	0.5	0.2	0.1	0.04	0.02	0.01	0.005
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.097	3.932	4.783
2.6	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.454
2.1	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-0.165	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Sumber : Suemarto (1987)

2.9.3.3 Distribusi Log-Person III

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Log Perason Type III, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S \log X \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

$\text{Log } X_T$ = Nila logaritma hujan rencana dengan periode ulang T

$$\text{Log } X = \text{Nilai rata-rata dari log } X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(2.22)$$

$S \log X$ = nilai rata-rata populasi X

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.23)$$

K_T = Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel variabel reduksi gauss pada **Tabel 2.3**)

2.9.3.4 Distribusi Gumbel

Jika data hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel dilakukan dengan rumus-rumus berikut :

$$X_T = \bar{X} + S \times K \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

X_T = Hujan rencana atau debit dengan kala ulang T

\bar{X} = Nilai rata-rata dari data hujan (X)

S = Standar deviasi dari data hujan (X)

$$K = \text{Faktor Frekuensi Gumbel} : K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$Y_t = \text{Reduced Variate} = -\ln - \ln \frac{T-1}{T} \dots\dots\dots(2.26)$$

= nilai Y_t bisa ditentukan berdasarkan (Tabel 2.4)

S_n = *Reduced standar deviasi* (Tabel 2.5)

Y_n = *Reduced Mean* (Tabel 2.5)

Tabel 2.5 Nilai Reduced Variate (Y_t)

Periode Ulang T (Tahun)	Y_t
2	0,3065
5	1,4999
10	2,2504
20	2,9702
25	3,1255
50	3,9019
100	4,6001

Sumber : Suemarto (1987)

Tabel 2.6 Nilai Reduced Standart Deviation (S_n) dan Nilai Reduced Mean

n	S_n	Y_n	n	S_n	Y_n
10	0,9497	0,4952	60	1,1750	0,5521
15	1,0210	0,5128	70	1,1850	0,5548
20	1,0630	0,5236	80	1,1940	0,5567
25	1,0910	0,5390	90	1,2010	0,5586
30	1,1120	0,5362	100	1,2060	0,5600
35	1,1280	0,5403	20	1,2360	0,5672
40	1,1410	0,5436	500	1,2590	0,5724
45	1,1520	0,5463	1000	1,2690	0,5745
50	1,1610	0,5485			

Sumber : Suemarto (1987)

2.10 Uji Kecocokan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah (1) Chi-Kuadrat dan (2) Smirnov-Kolmogorov.

2.10.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang

dianalisis . Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter x^2 , yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

X^2 : Parameter Chi-Kuadrat terhitung

E_f : Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

O_f : Frekuensi yang diamatipada kelas yang sama

E_f : Jumlah sup kelompok

Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan (DK) dihitung dengan rumus :

$$DK = K - (P + 1) \dots\dots\dots (2.28)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n \dots\dots\dots (2.29)$$

Keterangan :

DK = Derajat kebebasan

K = Jumlah kelas distribusi

P = Banyaknya parameter, untu Uji-Chi Kuadrat adalah 2

n = Banyaknya data.

Setelah distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis, atau dirumuskan sebagai berikut :

$$X^2 < X^{2cr} \dots\dots\dots (2.30)$$

Keterangan :

X^2 = Parameter Chi Kuadarat terhitung

X^{2cr} = Parameter Chi Kuadarat kritis (Tabel 2.7)

Prosedur uji Chi-kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya)
2. Menghitung jumlah kelas
3. Menghitung derajat kebebasan (DK) dan X^{2cr}
4. Menghitung kelas distribusi
5. Menghitung interval kelas

6. Perhitungan nilai X^2
7. Bandingkan nilai X^2 terhadap X^2_{cr}

Tabel 2.7 Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,388	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	46,979	50,892	53,672

Sumber : Soewarno (1995)

2.10.2 Uji Smirnov-Kolmogorov (secara analisis)

Pengujian distribusi probabilitas dengan Metode Smirnov Kolmogorof dilakukan dengan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut.

1. Urutkan data (X_i) dari besar ke kecil atau sebaliknya
2. Tentukan peluang empiris masing-masing data yang sudah diurut $P(X_i)$, dengan rumus tertentu, rumus Weibull sebagai berikut :

$$P(X_i) = \frac{n-1}{i} \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

n = jumlah data

i = nomer urut data (setelah diurut dari besar ke kecil atau sebaliknya)

3. Tentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut tersebut $P(X_i)$, berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih.
4. Hitung selisih (ΔP_i) antara peluang empiris dan teoritis setiap data yang sudah diurut :

$$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X_i) \dots\dots\dots(2.32)$$

5. Tentukan apakah $\Delta P_i < \Delta P$ kritis, jika “tidak” artinya distribusi probabilitas yang dipilih tidak dap diterima, demikian sebaliknya.
6. ΔP kritis (Tabel 2.8)

Tabel 2.8 Nilai ΔP kritis Smirnov – Kolmogorof

N	α (derajat kepercayaan)			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$\frac{107}{N^{0,5}}$	$\frac{1,22}{N^{0,5}}$	$\frac{1,36}{N^{0,5}}$	$\frac{1,63}{N^{0,5}}$

Sumber : Soewarno (1995)

2.11 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan, persatuan waktu (mm/menit , mm/jam, mm/hari). Sifat umum hujan adalah semakin singkat hujan berlangsung intensitasnya semakin tinggi dan semakin besar periode ulangnya makin semakin tinggi pula intensitasnya.

Dalam menghitung intensitas hujan dapat menggunakan persamaan formula mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^m \dots\dots\dots (2.33)$$

Keterangan:

I : Intensitas hujan (m/jam, m/detik)

T_c : Waktu konsentrasi (jam, detik)

R₂₄ : Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm) dalam kaitan dengan kajian ini dimodifikasi menjadi curah hujan harian (mm)

Untuk menghitung t_c adalah sebagai berikut :

$$t_c = t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2.34)$$

$$t_1 = \left(\frac{2}{3} \times 3.28 \times l_0 \times \frac{nd}{\sqrt{S}} \right)^{0.167} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \times v} \dots\dots\dots (2.36)$$

Keterangan:

t_c : Waktu konsentrasi (jam)

t₁ : Waktu inlet (menit)

t₂ : Waktu aliran (menit)

l₀ : Panjang permukaan daerah pengaliran

S : kemiringan daerah pengaliran

L : Panjang saluran (m)

nd : Koefisien hambatan (lihat tabel 2.3)

v : Kecepatan aliran air yang diizinkan (m/det) (lihat tabel 2.4)

Tabel 2.9 Hubungan Kondisi Permukaan Dengan Koefisien Hambatan

Kondisi Lapis Permukaan	Nd
1. Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2. Permukaan licin dan kedap air	0,020
3. Permukaan licin dan kokoh	0,10
4. Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,20 0,40
5. Padang rumput dan rerumputan	0,60
6. Hutan gundul	
7. Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,80

Sumber: Suripin, 2011

Tabel 2.10 Nilai Kecepatan Aliran yang diizinkan

Jenis bahan	Kecepatan aliran yang diizinkan (m/detik)
1. Pasir halus	0,45
2. Lempung kepasiran	0,50
3. Lanau aluvial	0,60
4. Kerikil halus	0,75
5. Lempung kokoh	0,75
6. Lempung padat	1,10
7. Kerikil pasir	1,20
8. Batu-batu besar	1,50
9. Pasangan batu	1,50
10. Beton	1,50
11. Beton bertulang	1,50

Sumber: Gunadarma, 2007

2.12 Debit Banjir Rancangan

Dalam praktik, perkiraan debit banjir dilakukan dengan beberapa metoda dan debit banjir rencana ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis (*engineering judgement*). Secara umum, metode yang umum dipakai adalah (1) metode rasional dan (2) metode hidrograf banjir.

2.12.1 Metode Rasional

Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Metode ini sangat simpel dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Goldman et.al., 1986). Karena model ini merupakan model kotak hitam, maka tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf. Persamaan matematik metode Rasional dinyatakan dalam bentuk :

$$Q_p = 0,00278 \text{ CIA} \dots \dots \dots (2.37)$$

Keterangan :

Q_p : laju aliran permukaan ($m^3/detik$)

C : Koefisien aliran permukaan

I : intensitas hujan (mm/jam)

A : luas DAS (hektar)

Tabel 2.11 Koefisien Limpasan Dari Beberapa Karakteristik

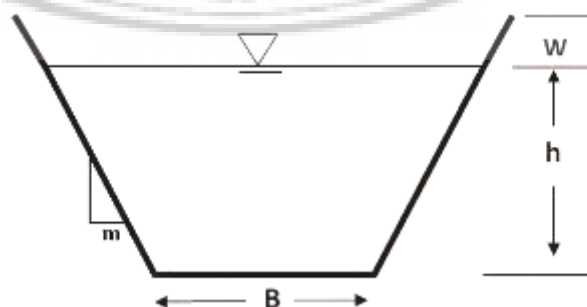
Karakter Permukaan	Koefisien Aliran (C)
Bussines	
Perkotaan	0,70 - 0,95
Pinggiran	0,50 - 0,70
Perumahan	
Rumah Tunggal	0,30 - 0,50
Multi unit, terpisah	0,40 - 0,60
Multi unit, tergabung	0,60 - 0,75
Perkampungan	0,25 - 0,40
Apartemen	0,50 - 0,70
Industri	
Ringan	0,50 - 0,80
Berat	0,60 - 0,90
Perkerasan	
Aspal dan Beton	0,70 - 0,95
Bat Bata dan Paving	0,50 - 0,70
Atap	0,75 - 0,95
Halaman, Tanah Berpasir	
Datar 2%	0,05 - 0,10
Rata-rata 2 - 7 %	0,10 - 0,15
Curam 7%	0,15 - 0,20
Halaman, tanah berat	

Datar 2%	0,13 - 0,17
Rata-rata 2 - 7 %	0,18 - 0,22
Curam 7%	0,25 - 0,35
Halaman Kereta api	0,10 - 0,35
Taman Tempat bermain	0,20 - 0,35
Taman, Perkebunan	0,10 - 0,25
Hutan	
Datar, 0 - 5%	0,10 - 0,40
Bergelombang, 5 - 10%	0,25 - 0,50
Berbukit, 10 - 30%	0,30 - 0,60

Sumber: Suripin, 2011:81

2.13 Analisa Hidrolika

Dalam merencanakan dimensi saluran drainase diperlukan analisa hidrolika. Analisa hidrolika bertujuan untuk merencanakan dimensi yang sesuai dengan jumlah debit limpaan yang sudah dihitung dalam analisa hidrologi. Analisa hidrolika dalam Perencanaan Ulang Drainase Kawasan Perumahan Sawojajar Kelurahan Lesanpuro Kecamatan Kedungkandang Kota Malang ini menggunakan sistem saluran terbuka.



Gambar 2.13 Penampang saluran trapesium

(Sumber Google 06 Juli 2017 19.39 WIB)

Desain saluran pada saluran berbentuk trapesium menggunakan periode 10 tahun.

Persamaan yang digunakan dalam analisa hidrolika adalah sebagai berikut :

$$Q = A.V \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan :

Q : Debit saluran (m³/det)

A : Luas penampang saluran (m²)

V : Kecepatan aliran (m/det)

2.13.1 Kecepatan Aliran (V)

Dalam menghitung kecepatan aliran (V) dapat menggunakan rumus Manning. Seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1889) mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat terkenal sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.39)$$

Keterangan :

V : Kecepatan aliran (m/det)

n : Koefisien Manning (tabel 2.6)

R : Jari-jari hidrolis (m)

S : Sloop (kemiringan)

Berikut ini adalah tabel harga koefisien Manning (n) untuk menghitung kecepatan aliran :

Tabel 2.12 Harga Koefisien Manning (n)

No	Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	- Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,01	0,011	0,013
	- Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran	0,011	0,013	0,014
	- Beton dipoles	0,011	0,012	0,014

	- Saluran pembuang dengan bak control	0,013	0,015	0,017
2	Tanah, lurus dan sragam			
	- bersih baru	0,016	0,018	0,022
	- Bersih Telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	- Berkrikil	0,022	0,025	0,03
	- Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran Alam			
	- Bersih Lurus	-0,025	0,03	0,033
	- Bersih Berkelok-kelok	0,033	0,04	0,045
	- Banyak tanaman pengganggu	0,05	0,07	0,08
	-Dataran banjir berumput pendek – tinggi	0,025	0,03	0,035
	- Saluran di belukar	0,035	0,05	0,07

Sumber : Suripin, 2011

2.13.2 Luas Penampang Saluran

Untuk menghitung luas penampang saluran menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A = \frac{Q}{V} \dots \dots \dots (2.40)$$

Keterangan :

Q : Debit saluran (m³)

A : Luas penampang saluran (m²)

V : Kecepatan aliran (m/det)

Menghitung dimensi penampang berbentuk trapesium :

$$A = (b + m.h)h \dots \dots \dots (2.41)$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \dots \dots \dots (2.42)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots \dots \dots (2.43)$$

Keterangan :

- A : Luas penampang basah saluran (m²)
 P : Keliling penampang basah saluran (m)
 R :Jari-jari hidrolis (m)
 h :Tinggi air dalam saluran (m)
 b : Lebar dasar saluran (m)
 m : Kemiringan dinding saluran

2.13.3 Kondisi Aliran

Menurut Suripin (2004:123) Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitudo kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman, jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis maka, alirannya disebut subkritis, sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar adripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia yang dinyatakan dengan bilangan *froude* (fr) bilangan *froude* untuk saluran berbentuk persegi didefinisikan sebagai :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.h}} \dots \dots \dots (2.34)$$

Keterangan :

- V = Kecepatan aliran (m/dt)
 h = Kedalaman aliran (m)
 g = Percepatan gravitasi (m/dt²)